Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 4, 2022, p. 453-466

Development and Evaluation of a Semi-automatic Cucumber Seed Extractor

I. Ahmadi[1*], M. Golabadi[2&4], A. Eghtedari Naeini[3&4]

1- Associate Professor of Biosystems Engineering, Department of Genetics and Plant Production Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Associate Professor of Plant Breeding, Department of Genetics and Plant Production Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor of Agronomy, Department of Genetics and Plant Production Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
4- Plant Improvement and Seed Production Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: i_ahmadi_m@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.69597.1032

Received: 31-03-2021 Revised: 27-07-2021 Accepted: 28-07-2021 Available Online: 28-07-2021	**How to cite this article:** Ahmadi, I., Golabadi, M., & Eghtedari Naeini, A. (2022). Development and Evaluation of a Semi-automatic Cucumber Seed Extractor. *Journal of Agricultural Machinery*, *12*(4): 453-466. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.69597.1032

Introduction

According to FAO, gherkin and cucumber have been cultivated in about 2.23 million hectares of farmlands around the globe, and about 78000 hectares of Iran agricultural fields have been devoted to gherkin and cucumber cultivation. However, large amounts of the cucumber seeds required in Iran have been imported from abroad. Fortunately, some Iranian agricultural companies have been focused on seed production recently. Therefore, there is an opportunity to develop seed production equipment such as seed extracting machines.

There are two types of cucumber seed extractors: bulk seed extractor and single fruit extractor. The bulk seed extractor is suitable for extraction of large amounts of seed on the farm, while the single fruit extractor is suitable where seed production is limited to greenhouse seed-producing facilities which are mostly used for controlled pollination of the crop.

Due to the high price of imported seed extractors, especially after increasing the price of foreign currencies, production of these machines within the country is economically rational; therefore, the aim of this research is to develop and evaluate a single fruit cucumber seed extractor for small and medium-size seed-producing greenhouses.

Materials and Methods

The cucumber seed extractor was designed semi-automatically. The criteria for designing the machine were as follows: 1- usage of the single fruit seed extraction method, 2- the possibility of simultaneous usage of two operators, 3- automatic discharge of the extracted seeds, 4- the possibility of the height variation of the machine, 5- the possibility of the emergency shutdown of the machine, 6- the possibility of the angular velocity variation of the machine helix.

The working element of the machine was the rotating helix that can extract the fruit seeds and leave the fruit's outer skin mostly intact for easy disposal of fruit remains from the greenhouse. A 1 hp, 3 phase electric motor was used to drive the machine via the belt and pulley transmission system. For the smooth start and stop of the machine, and the possibility of angular velocity variation of the machine helixes, an electronic driver was used for the motor.

To design the machine helix, the dimensions of the examined cucumber were measured first (i.e., cucumber length and diameter); then, according to the physical and mechanical properties of the fruit, the prime mover and transmission system of the machine was designed. Finally, the fabricated machine was evaluated using some mechanization criteria.

Results and Discussion

Some of the results are as follows:

- The total torque required to drive the machine was 3.394Nm.
- The electric motor power should be higher than 0.284hp; furthermore, in order to have a wider angular velocity span for the rotating shaft, a 1hp electric motor was installed on the machine.

- The diameter of the rotating shaft was calculated to be 15mm.
- The seed extracting machine could be used instead of 15 workers of the manual seed extraction method.
- The rate of seed extraction using the machine was 30781 kg ha^{-1}.
- The efficiency of seed extraction using the machine was similar to that of the manual method.
- The emergence percentage of seeds obtained by the machine was similar to that of the manual method.
- The amount of crop calculated from the concept of economical break-even point was 7.7 tons.

Conclusion

In this study, an apparatus for mechanized extraction of cucumber seed was designed, fabricated and evaluated. The working element of the machine is the extractor helix that is rotated via the belt and pulley transmission system, which is activated using a 1 hp, 3 phase electric motor. For smooth start and stop of the motor, as well as the possibility of angular velocity variation of the machine helix, the motor was equipped with an electronic driver. Utilizing an emergency shutdown switch, the machine can be protected from unforeseen emergency situations. After using the machine for 6 months, it was recognized that strengthening the extractor helixes was necessary. According to the results of this study, using the machine led to 15 person reduction in the labor needs of the manual cucumber seed extraction method. Moreover, the amount of crop calculated from the economical break-even point was 7.7 tons.

Keywords: Greenhouse cucumber, Economical break-even point, Machine capacity, Seed extracting machine, Seed production

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۴۶۶-۴۵۳

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه نیمه‌خودکار خارج‌کننده بذر از خیار بذری

ایمان احمدی[۱*]، مریم گل آبادی[۲و۴]، عبدالرضا اقتداری نائینی[۳و۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

چکیده

ایران با تولید سالانه ۱/۷ میلیون تن خیار، چهارمین تولیدکننده این محصول در سطح دنیاست، از سوی دیگر وجود بذر مناسب یکـی از مهـم‌تـرین عوامل در افزایش تولید خیار است. در این پژوهش به درخواست یکی از شرکت‌های تولید بذر، دستگاهی بـرای اسـتخراج بـذر از محصـول خیـار بـذری طراحی و ساخته شد و کارایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. اجزای کاری دستگاه دو مارپیچ چپ‌گرد و راست‌گرد هستند که در هنگام چرخش باعث خـارج شدن پیوسته بذرها از داخل محصول خیار بذری می‌شوند. توان دورانی مارپیچ‌ها توسط یک موتور الکتریکی با قدرت یک اسـب بخـار تـأمین شـد و بـه کمک سیستم انتقال توان پولی و تسمه‌ای به محور مارپیچ‌ها منتقل گردید. برای راه‌اندازی و توقف آرام موتور و امکان‌پذیر شدن تغییر سرعت آن، موتور الکتریکی به یک راه‌انداز الکترونیکی مجهز شد. برای ارزیابی دستگاه، ظرفیت و نرخ استخراج بذر توسط ماشین بـا پارامترهـای مشـابه در روش دسـتی مقایسه شد و مقدار محصول در نقطه سر به سر اقتصادی تعیین گردید. برمبنای نتایج به‌دست آمده به‌کارگیری دستگاه با ظرفیت کامل باعث کاهش ۱۵ نفری در تعداد کارگران مورد نیاز برای استخراج بذر به روش دستی می‌شود. همچنین وزن محصول در نقطه سر به سر اقتصادی برابر با ۷/۷ تن بـرآورد شد که از نظر زمانی با به‌کار بردن دستگاه به‌طور مداوم به مدت ۲۵/۳ ساعت حاصل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید بذر، خیار گلخانه‌ای، ظرفیت ماشین، ماشین استخراج‌کننده بذر، نقطه سر به سر اقتصادی

فهرست نمادهای مورد استفاده در روابط

عبارت مورد استفاده در فرمول به فارسی Utilized phrase in the formula in Farsi	عبارت مورد استفاده در فرمول به انگلیسی Utilized phrase in the formula in English	نماد Symbol
بازده استخراج بذر	Seed extraction efficiency	SEE
تعداد کارگر	Number of workers in the manual seed extraction	n
تنش برشی مجاز محور فلزی ماشین	Allowable shear stress of the machine shaft	$\tau_{\text{مجاز}}$
تنش ناشی از سفتی محصول	Normal stress caused by the fruit stiffness	σ
توان دستگاه	Machine power	P
زاویه پره‌های مارپیچ با موقعیت افقی با خط عمود	Angle between helix blade and the normal line (helix is hold horizontally)	θ
زمان استخراج بذر	Seed extraction time	T
شعاع متوسط پره‌های تشکیل‌دهنده نوک مارپیچ	Average radius of the blades that forms the helix tip	r
شعاع متوسط مارپیچ‌ها	Average radius of the helix	$r_{\text{متوسط}}$
ضریب اصطکاک بذرها با پوست خیار	Friction coefficient between seeds and cucumber peel	$\mu_{\text{بذر و پوسته}}$
ضریب اصطکاک بذرها با فلز برنج	Friction coefficient between seeds and brass	$\mu_{\text{بذر و برنج}}$

۱- دانشیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، ایران
۲- دانشیار اصلاح نباتات، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، ایران
۳- استادیار زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، ایران
۴- مرکز تحقیقات اصلاح و تولید بذر، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: i_ahmadi_m@yahoo.com)

https://doi.org/10.22067/jam.2021.69597.1032

CA	Capacity	ظرفیت
d	Machine shaft diameter	قطر محور ماشین
Tq	Torque	گشتاور
A	Area of the triangle blades that forms the helix tip	مساحت مثلث پره‌های تشکیل‌دهنده نوک مارپیچ
SER	Seed extraction rate	نرخ استخراج بذر
SR	Substitution rate of workers with the machine	نرخ جایگزینی کارگر با ماشین
F	Force	نیرو
ISW	Inaccessible extracted seeds	وزن بذرهای خارج از دسترس استخراجی از محصول
ASW	Available extracted seeds	وزن بذرهای در دسترس استخراجی از محصول
DSW	Dry weight of the extracted seeds	وزن خشک بذرهای خارج شده
W	Crop weight	وزن محصول
SEP	Specific electric power price (per kWh)	هزینه برق مصرفی به ازای kWh
MEP	Machine electric power price	هزینه برق مصرفی ماشین

مقدمه

عدم دسترسی به بذرهای با کیفیت از واریته‌های اصلاح شده در بسیاری از کشورها یکی از مهم‌ترین موانع در گسترش تولید محصولات کشاورزی است. مطالعات میدانی نشان‌دهنده این واقعیت است که بسیاری از کشاورزان برای کاشت از بذرهای ذخیره شده قدیمی استفاده می‌کنند.

بر اساس آمار FAO، سطح زیر کشت انواع خیار در جهان ۲/۲۳ میلیون هکتار است (FAOSTAT, 2020). همچنین سطح زیر کشت و مقدار تولید محصول خیار در ایران به‌ترتیب برابر با ۷۸۰۰۰ هکتار و ۱/۷ میلیون تن است (Ministry of Agriculture, 2016). بیشتر وزن خیار را آب تشکیل می‌دهد (۹۶٪)، همچنین ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسیدهای ارگانیک زیادی در این محصول وجود دارد که آن را به یک محصول مغذی تبدیل می‌کند. خیار را می‌توان در نواحی دارای آب و هوای حاره در طول سال پرورش داد (Gopalakrishnan, 2007). برای پرورش خیار به‌جز زه‌کشی و آبیاری مناسب و حاصلخیز بودن خاک، دمای بهینه خاک برای جوانه زنی بذر باید بین ۱۸°C تا ۲۳°C باشد و رشد مطلوب گیاه در دمای خاک بین ۱۸°C تا ۳۰°C صورت می‌گیرد (Deyo & Malley, 2008).

فرآیند بذرگیری از خیار در بعضی از کشورها هنوز به‌صورت دستی انجام می‌شود. برای این کار خیار بذری پس از رسیدگی فیزیولوژیکی به‌صورت طولی با چاقو بریده شده و بذرها به همراه پالپ خارج می‌شوند. این روش به شدت خسته‌کننده و یکنواخت است. از طرف دیگر هزینه اضافی را به فرآیند تولید بذر تحمیل می‌کند. همچنین فرآیند دستی خارج کردن بذر کند پیش می‌رود و ممکن است تولیدکنندگان از لحاظ دسترسی به تعداد کافی کارگر در زمان مورد نیاز با مشکلاتی مواجه شوند. در نقطه مقابل، خارج کردن بذر با روش‌های مکانیکی هزینه تولید بذر را کاهش داده و سرعت خارج کردن بذر را افزایش می‌دهد (Deepak, Jyothilakshmi, & Shifa, 2004). پیش از این پژوهشگران ماشین‌هایی برای خارج کردن بذر از فلفل (Gabani & Siripurapu, 1993)، گوجه (Kalra, Kaul, & Srivastava, 1983) و خیار (Wehner & Humphries, 1995; Mohan, 2012) توسعه داده‌اند.

برای طراحی ماشین‌های فرآوری محصولات کشاورزی اطلاع از خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی محصول اهمیت دارد (Mirzabe, Barati kakolaki, Abouali, & Sadin, 2017). خواص فیزیکی و مکانیکی خیار شامل سفتی سنجیده شده با نفوذسنج مخروطی، نیروی برشی محوری، قطر و طول خیار توسط (El Said, Atallah, Khalil, & El-Lithy, 2011) به‌ترتیب برابر با ۱۰۰/۹ N cm^{-2}–۶۴، ۷۰ N–۳۰، ۷۰ mm–۶۰ و ۲۳۰ mm–۲۰۰ گزارش شد. از این ویژگی‌ها برای طراحی یک ماشین بذرگیر خیار استفاده شد. در این دستگاه با حرکت رفت و برگشتی بازو، اعمال برش طولی و استخراج بذر از محصول به‌طور همزمان انجام می‌شد.

همچنین وزن، تعداد بذر، قطر و طول خیار بذری واریته بتا–آلفا گزارش شده توسط Abd-Alla (1993) به‌ترتیب برابر است با ۶۵۰ gr–۵۰۰، ۶۰۰–۲۰۰، ۶۵ mm–۵۰ و ۲۶۰ mm–۲۰۰.

در تحقیق دیگری به‌منظور آگاهی از خواص مکانیکی خیار، مرادی و همکاران (Moradi, Balanian, Taherian, & Mousavi Khaneghah, 2019) متوسط نیروی شکست فشاری و برشی خیار را به‌ترتیب برابر با ۶۲۸/۳۸N و ۷۴N اندازه‌گیری کردند.

به‌طور کلی ماشین‌های بذرگیر از محصول خیار بذری به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

بذرگیر توده‌ای خیار (مناسب برای مقادیر بالا) که میوه را خرد می‌کند و توده پالپی به‌وجود می‌آورد. پس از استفاده از بذرگیر توده‌ای در مزرعه، پالپ‌های عاری از بذر و سایر قسمت‌های باقی‌مانده از خیار

با عملیات دیسک‌زنی با خاک مخلوط می‌شوند. در نقطه مقابل، یک بذرگیر تک میوه‌ای، حفره‌ای در طول خیار ایجاد می‌کند و بخش‌های باقی‌مانده از خیار را تقریباً دست‌نخورده باقی می‌گذارد که برای بیرون بردن از محیط گلخانه و یا آزمایشگاهی که معمولاً ماشین بذرگیر در آنجا نصب می‌شود مناسب است.

شایان ذکر است که بذرهای به‌دست آمده از دستگاه به‌طور کامل عاری از پالپ نیستند و برای جدا کردن پالپ‌های باقی‌مانده روی بذرها از یکی از روش‌های تخمیر، مکانیکی و یا شیمیایی استفاده می‌شود.

وهنر و همکاران (Wehner, Tolla, & Humphries, 1983) یک نمونه آزمایشگاهی برای بذرگیری از خیار ساختند. این دستگاه قادر بود که بذرها را از محصول رسیده با نرخ ۱۰۰ خیار در دقیقه خارج کند. ماشین توانست ۹۸٪ از بذرهایی که به روش دستی استحصال می‌شدند را از محصول خارج کند. ماشین از دو غلتک با جهت چرخش عکس، یک استوانه دوار برای جدا کردن بذر از تکه‌های محصول خرد شده، یک سینی هدایت مواد و یک سینی جمع‌آوری بذر تشکیل شده بود.

دیپتی و همکاران (Deepthi, Jacintha, & Ali, 1993) یک ماشین استخراج بذر جریان محوری برای محصول خیار ساختند. اجزای اصلی ماشین عبارت بود از: مخزن استوانه‌ای، کانال تغذیه، محفظه برش اولیه، محفظه له‌کن و جداکن همزمان، تیغه‌های برشی نصب شده به‌صورت طولی، سیستم آب‌پاش، دریچه‌های قابل تنظیم و خروجی‌های بذر و پالپ. محصول رسیده داخل محفظه اول ریخته می‌شد و با تیغه‌های دوار به تکه‌های کوچکی تبدیل می‌شد، سپس تکه‌های خرد شده در محفظه له کن، له می‌شدند. جداسازی دانه‌ها از پالپ با خروج اجباری بذرها به کمک آب از سوراخ‌های الک صورت می‌گرفت.

وهنر و هومفریز (Wehner & Humphries, 1995) برای افزایش سرعت و راحتی کار خارج کردن بذرها از خیارهای منفرد رسیده یک ماشین استخراج بذر از خیار را توسعه دادند. ماشین از یک مخروط خارج‌کننده بذر، مکانیزم محرک، کانالی برای هدایت محصول و یک آبکش تشکیل شده بود. این ماشین به صرفه‌جویی زمانی ۴۷ ثانیه‌ای برای استخراج بذر از یک خیار در مقایسه با روش دستی منجر شد. در طول ۵ سال استفاده از ماشین، تفاوت معنی‌داری بین درصد جوانه‌زنی بذرهای خارج شده با این ماشین در مقایسه با روش دستی مشاهده نشد.

از سوی دیگر هرچند ماشین‌های استخراج بذر که در خارج از کشور تولید شده‌اند، وجود دارند، اما به دلیل قیمت بالای دستگاه وارداتی مخصوصاً بعد از افزایش نرخ ارز، ساخت دستگاه در داخل کشور توجیه‌پذیر است، بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر طراحی، ساخت و ارزیابی یک ماشین مکانیکی خارج‌کننده بذر از محصول خیار بذری است که از نوع تک میوه‌ای بوده، قابلیت جابه‌جایی و تغییر سرعت دورانی محور و ارتفاع را داشته باشد و مناسب کار در گلخانه‌های تولید بذر کوچک و متوسط باشد.

مواد و روش‌ها

قبل از پرداختن به معرفی و روش ارزیابی ماشین، در جدول ۱ به برخی از خواص بیوفیزیکی محصول مورد استفاده در این پژوهش یعنی خیار گلخانه‌ای رقم سبا که با قابلیت کشت بهاره-پاییزه، دارای بوته خود تنظیم و متحمل به شرایط کم نوری و یک تا چهار میوه شیاردار کشیده زودرس در هر گره است، اشاره می‌شود. شایان ذکر است که طول، قطر و ضخامت پالپ نمونه‌های خیار با استفاده از یک کولیس-ورنیه اندازه گیری شد و متوسط مقادیر به‌دست آمده گزارش گردید. همچنین جرم خیارها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و حجم آن‌ها با روش محاسبه حجم آب جابه‌جا شده محصول غوطه‌ور در آب به‌دست آمد و برای محاسبه مساحت تصویر شده از حاصلضرب طول در قطر نمونه‌های خیار استفاده شد.

جدول ۱- برخی از خواص بیوفیزیکی خیار بذری مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Some biophysical properties of the seed cucumber that is studied in this research

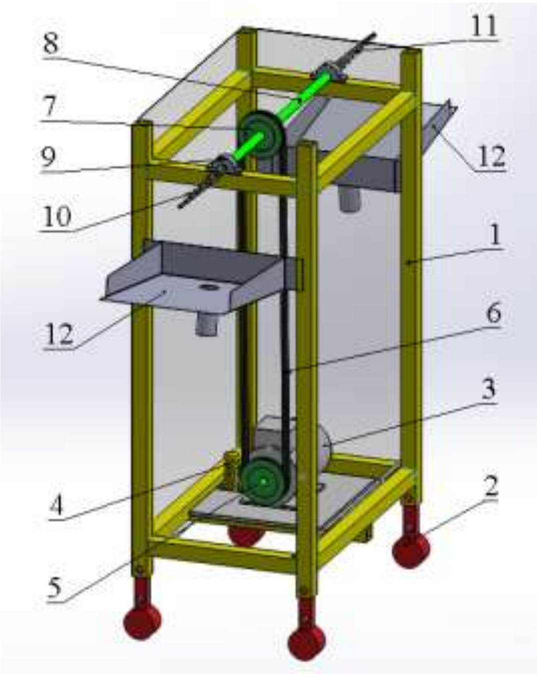
ویژگی بیوفیزیکی خیار بذری Biophysical properties	مقدار کمینه Minimum value	مقدار بیشینه Maximum value	مقدار متوسط Average value
Length (mm) طول	190	230	210
Diameter (mm) قطر	45	70	57.5
Mass (gr) جرم	260	470	365
Volume (cm^3) حجم	250	500	375
Projected area (cm^2) مساحت تصویر شده	100	150	125
Pulp thickness (mm) ضخامت پالپ (بخش بدون دانه)	7	10	8.5

معرفی دستگاه

دستگاه خارج‌کننده بذر از خیار بذری به‌صورت نیمه‌خودکار طراحی شد، به این معنی که پس از برداشت و جمع کردن محصول در کنار دستگاه، خیارها به‌صورت تک تک توسط کارگر در مقابل بخش خارج‌کننده بذر قرار داده شده و به طرف آن هل داده می‌شوند و دستگاه کار خارج کردن بذر را انجام می‌دهد. پس از این عمل آنچه از محصول در دست کارگر باقی می‌ماند استوانه‌ای تو خالی و بدون بذر از خیار است که کنار گذاشته می‌شود. معیارهای مورد توجه در طراحی دستگاه عبارت بودند از:

۱- انجام عمل بذرگیری از خیار به‌صورت تک تک
۲- امکان استفاده دو اپراتور به‌طور همزمان از دستگاه
۳- هدایت بذرهای خارج شده به بخش جمع‌آوری بدون ایجاد مزاحمت برای اپراتورهای دستگاه
۴- امکان تغییر ارتفاع دستگاه
۵- امکان از کار انداختن دستگاه در مواقع اضطراری
۶- امکان تغییر سرعت دورانی دستگاه در مواقع ضروری

با توجه به معیارهای ذکر شده، بخش مکانیکی دستگاه به‌صورت آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است طراحی شد.



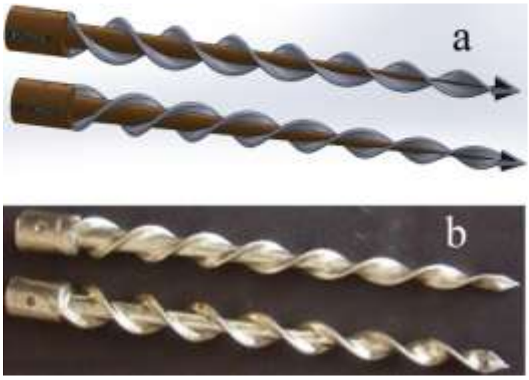
شکل ۱- بخش مکانیکی دستگاه خارج‌کننده بذر از خیار بذری (۱- شاسی، ۲- پایه چرخدار، ۳- موتور الکتریکی، ۴- پیچ ریگلاژ تسمه، ۵- پولی محرک، ۶- تسمه، ۷- پولی متحرک، ۸- محور دوار، ۹- یاتاقان غلتشی، ۱۰- مارپیچ راست‌گرد، ۱۱- مارپیچ چپ‌گرد، ۱۲- سینی شیب‌دار هدایت بذر)

Fig. 1. Mechanical parts of the cucumber seed extractor (1- Chassis, 2- Wheeled base, 3- Electric motor, 4- Belt regulating screw, 5- Driver pulley, 6- Belt, 7- Driven pulley, 8- Rotating shaft, 9- Ball bearing, 10- Clockwise rotating helix, 11- Counter clockwise rotating helix, 12- Seed discharge tray)

قسمت‌های تشکیل‌دهنده دستگاه عبارتست از: شاسی دارای قابلیت تنظیم ارتفاع و مجهز به چرخ‌های تسهیل‌کننده حرکت دستگاه روی سطوح صاف، موتور الکتریکی محرک، سیستم انتقال توان پولی و تسمه‌ای دارای قابلیت ریگلاژ تسمه، محور دوار مستقر روی دو یاتاقان غلتشی، مارپیچ‌های راست‌گرد و چپ‌گرد برای خارج کردن بذر از محصول، سینی‌های شیب‌دار هدایت‌کننده بذرهای خارج شده به بخش جمع‌آوری.

تنظیم سرعت دورانی محور، همچنین راه‌اندازی آرام موتور الکتریکی از طریق یک راه‌انداز الکترونیکی انجام شد و قطع جریان برق موتور الکتریکی در مواقع اضطراری به کمک کلیدهای emergency دستگاه عملی گردید.

مارپیچ‌های راست‌گرد و چپ‌گرد به‌صورت آن‌چه در شکل ۲ نشان داده شده طراحی و ساخته شد.



شکل ۲– مارپیچ‌های راست‌گرد و چپ‌گرد خارج‌کننده بذر از خیار بذری a) طراحی شده، b) ساخته شده

Fig. 2. The clockwise and counter-clockwise rotating seed extracting helixes a) Designed, b) Built

در ادامه به روند طراحی مارپیچ‌ها و محور انتقال توان، همچنین انتخاب موتور محرک دستگاه پرداخته می‌شود:

ابتدا با توجه به ویژگی‌های ابعادی خیار بذری از نظر طول و قطر محصول، ابعاد بخش مارپیچ دستگاه تعیین شد، سپس با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خیار بذری، طراحی بخش محرک سامانه یعنی تعیین ابعاد سیستم انتقال توان و محاسبه قدرت موتور الکتریکی صورت پذیرفت.

متوسط طول و قطر خارجی خیار بذری به‌ترتیب ۲۱۰mm و ۵۸mm می‌باشد که بذرها در استوانه‌ای داخلی به طول ۲۰۰mm و قطر ۳۰mm قرار گرفته‌اند. بنابراین محور مارپیچ به‌صورت مخروط ناقص با قطر اولیه ۵mm، قطر نهایی ۱۵mm و طول ۲۵۰mm در نظر گرفته شد که روی این محور، مارپیچ دو پره‌ای با قطر اولیه ۱۰ mm، قطر نهایی ۲۴ mm و گام ۶۵ mm تعبیه گردید. با این طراحی زاویه سطح شیب‌دار پره‌ها با خط عمود (۳۰ درجه)، از زاویه اصطکاک بین بذرهای مرطوب و فلز مارپیچ (۱۰ درجه) بیشتر می‌شود که این موضوع سبب تخلیه آزاد بذرهای در حال جدا شدن به خارج از پوسته خیار می‌گردد. جنس فلز مارپیچ، آلیاژ برنج در نظر گرفته شد تا تماس بذرهای مرطوب باعث زنگ زدن آن نشود، همچنین ریخته‌گری مارپیچ در یک کارگاه ریخته‌گری معمولی امکان‌پذیر باشد.

بخش جداکننده بذرها از بافت داخلی خیار، نوک صلیبی شکل مارپیچ است که با حرکت دورانی خود و جابه‌جا شدن توأم خیار نسبت به مارپیچ با حرکت دست کارگر، به جدا شدن پیوسته بذرها از بافت مرکزی خیار کمک می‌کند.

گشتاور مقاوم مارپیچ از دو بخش تشکیل شده است: گشتاور ناشی از جدا شدن بذرها توسط نوک صلیبی شکل مارپیچ و گشتاور ناشی از نیروی اصطکاک به‌وجود آمده در اثر تماس بذرها با دیواره فلزی مارپیچ، همچنین تماس آن‌ها با پوسته خیار در هنگام خارج شدن بذرها از استوانه توخالی باقی‌مانده از خیار.

تخمین گشتاور ناشی از جدا شدن بذرها توسط نوک صلیبی شکل مارپیچ

با دوران مارپیچ، هر یک از چهار مثلث تشکیل‌دهنده نوک صلیبی شکل به بافت خیار نیرو وارد می‌کنند. به محض این‌که نیروی محرک بر نیروی مقاوم ناشی از سفتی بافت خیار غلبه کند، جدایش بخشی از بافت محصول اتفاق می‌افتد. در سطوح مثلث شکل، حاصلضرب مساحت مثلث (A) در تنش ناشی از سفتی محصول (σ) (El Said *et al.,* 2011)، نیروی مقاوم جدایش بذرها ($F_{جداکننده}$) را تشکیل می‌دهد. از ضرب نیروی محاسبه شده در بازوی گشتاور مقاوم (r) (یک سوم ارتفاع مثلث)، گشتاور مقاوم تخمین زده می‌شود که برابر با گشتاور محرک مورد نیاز برای عمل جدایش بذرها از بافت داخلی خیار بذری است (رابطه (۱)).

$$Tq_{جدایش} = 4 \times Tq_{مثلث} = 4 \times \left(F_{جداکننده} \times r\right) = 4 \times \left(\left(A \times \sigma\right) \times r\right) \quad (۱)$$

تخمین گشتاور ناشی از نیروی اصطکاک به‌وجود آمده در اثر تماس بذرها با دیواره فلزی مارپیچ، همچنین تماس بذرها با پوسته خیار در هنگام خارج شدن آن‌ها از استوانه توخالی باقی‌مانده از خیار

از آنجا که برای استخراج بذر، کارگر باید خیار را در دست گرفته و به آرامی به سمت مارپیچ و در صورت نیاز به بالا و پایین حرکت دهد، بذرهای جدا شده از بافت خیار تحت تأثیر نیروی اصطکاک ناشی از تماس بذرها با جداره فلزی مارپیچ، همچنین تماس بذرها با جداره داخلی استوانه باقی‌مانده از خیار قرار می‌گیرند. نیروی عمودی به‌وجود آورنده اصطکاک توسط فشار دست کارگر تأمین می‌شود. حاصلضرب نیروی عمودی دست (N) (Rossi, Berton, Grélot, Barla, & Vigouroux, 2012)، در حاصل‌جمع ضرایب اصطکاک بین بذر و سطح برنجی و بین بذر و جداره داخلی استوانه باقی‌مانده از خیار

$\left(\mu_{\text{بذر و پوسته}} + \mu_{\text{بذر و برنج}}\right)$ به تخمین نیروی اصطکاک ($F_{\text{اصطکاک}}$) می‌انجامد. سپس با توجه به زاویه پره‌های مارپیچ نسبت به خط عمود (θ) و تجزیه نیروی اصطکاک به دو مؤلفه یعنی مؤلفه گشتاورساز ($F_{\text{اصطکاک}} \times \sin\theta$) و مؤلفه در راستای محور ($F_{\text{اصطکاک}} \times cos\,\theta$) و ضرب شعاع متوسط مارپیچ ($r_{\text{متوسط}}$) در مؤلفه گشتاورساز نیروی اصطکاک، تخمین گشتاور ناشی از اصطکاک بذرها ($Tq_{\text{اصطکاک}}$) صورت می‌گیرد. البته چون کارگر با دو دست خیار را در دست می‌گیرد، گشتاور به‌دست آمده باید در عدد ۲ ضرب شود تا گشتاور کل ناشی از اصطکاک تخمین زده شود (رابطه (۲)).

$$Tq_{\text{اصطکاک}} = 2 \times (F_{\text{اصطکاک}} \times \sin\theta) \times r_{\text{متوسط}} = 2 \times \left(\left(\mu_{\text{بذر و برنج}} + \mu_{\text{بذر و پوسته}}\right) \times N \times \sin\theta\right) \times r_{\text{متوسط}} \quad (۲)$$

تخمین گشتاور و توان کل دستگاه

پس از تخمین گشتاورهای ناشی از جدایش بذر و ناشی از اصطکاک، گشتاور کل دستگاه از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Tq = 2 \times Tq_{\text{هلیس}} = 2 \times (Tq_{\text{جدایش}} + Tq_{\text{اصطکاک}}) \quad (۳)$$

ضریب ۲ در رابطه (۳) به این علت وارد شده است که دستگاه از دو واحد خارج‌کننده بذر هلیسی شکل تشکیل شده است. در نهایت با در اختیار بودن گشتاور کل مورد نیاز دستگاه، توان موتور الکتریکی محرک دستگاه محاسبه شد:

$$\text{توان دستگاه} = P = Tq \times \omega \quad (۴)$$

طراحی محور

محاسبه قطر محور دوار توپر با معیار تنش برشی مجاز و با استفاده از رابطه (۵) انجام شد:

$$\tau_{\text{مجاز}} = \frac{16\,(Tq)}{\pi\, d^3} \quad (۵)$$

جایی‌که T، d و $\tau_{\text{مجاز}}$ به‌ترتیب گشتاور انتقالی، قطر محور و تنش برشی مجاز هستند.

روند ساخت مارپیچ‌ها شامل پرینت سه‌بعدی قطعه طراحی شده به‌منظور ایجاد قالب، ریخته‌گری قالب با فلز برنج و تراشکاری و پرداخت نهایی قطعه می‌شود.

شاسی دستگاه با پروفیل آهن ۴×۴ و پایه آن با پروفیل آهن ۳×۳ ساخته شد. برای ساخت پوشش بیرونی دستگاه، همچنین ساخت سینی‌های هدایت‌کننده بذرهای خارج شده به قسمت جمع‌آوری بذر از ورق آهنی با ضخامت 1/25mm استفاده شد. دستگاه ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

هزینه‌های صرف شده برای طراحی و ساخت دستگاه در جدول ۲ خلاصه شده است.



شکل ۳– دستگاه ساخته‌شده برای خارج کردن بذر از خیار بذری

Fig. 3. The cucumber seed extractor

جدول ۲- لیست هزینه‌های مربوط به طراحی و ساخت دستگاه (قیمت‌ها مربوط به خرداد ماه سال ۱۳۹۸ است)
Table 2- Price list for designing and fabrication of the machine (prices were registered in June 2019)

موضوع Item	تعداد Quantity	قیمت واحد (هزار ریال) Unit price (thousand Rials)	قیمت (هزار ریال) Price (thousand Rials)
پرینت سه‌بعدی، ریخته‌گری، تراشکاری و پرداخت ماریپچ 3D printing, casting, machining and finishing of helix	2	6400	12800
خرید موتور سه فاز با توان یک اسب بخار Purchase of 1 hp, 3 phase electric motor	1	6900	6900
خرید راه‌انداز موتور الکتریکی Purchase of motor electronic driver	1	29300	29300
خرید و تراشکاری محور دوار Purchase and machining of the machine shaft	1	1000	1000
خرید یاتاقان و پولی Pulley and ball bearing price	2	800	1600
خرید پروفیل آهنی ۴×۴ و ۳×۳ به طول ۶ متر Purchase of 4×4 and 3×3 iron profiles with 6 m length	2	900	1800
جوشکاری شاسی Chassis welding	1	2000	2000
خرید کلیدهای الکتریکی دستگاه Purchase of the machine electric switches	1	3000	3000
خرید و خم‌کاری و رنگ‌آمیزی ورق‌های دستگاه Purchase, bending and painting of the machine sheets	1	4000	4000
هزینه پرسنلی طراحی و اجرای بخش الکتریکی Personnel wage for execution of the electrical parts	1	18000	18000
هزینه پرسنلی طراحی و اجرای بخش مکانیکی Personnel wage for execution of the mechanical parts	1	17000	17000
Total sum of items جمع کل			96400

روش ارزیابی دستگاه

ارزیابی دستگاه ساخته شده با توجه به پارامترهای زیر صورت گرفت:

۱) ظرفیت: این پارامتر با محاسبه نسبت وزن کل خیارهای مورد استفاده به زمان کل اختصاص یافته برای بذرگیری به‌دست می‌آید. ظرفیت بر حسب واحد کیلوگرم بر ساعت بیان می‌شود (Srivastava, Goering, Rohrbach, & Buckmaster, 2006; Mohan, 2012) (روابط (۶) و (۷) و (۸)):

$$CA_{\text{دستی}} = \frac{W_{\text{دستی}}}{T_{\text{دستی}}}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۶)$$

$$CA_{\text{کارگر}} = \frac{CA_{\text{دستی}}}{n}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۷)$$

$$CA_{\text{ماشین}} = \frac{W_{\text{ماشین}}}{T_{\text{ماشین}}}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۸)$$

از تقسیم ظرفیت ماشین به ظرفیت استخراج بذر هر کارگر در روش دستی و کم کردن عدد ۲ از نتیجه به‌دست آمده (چون دستگاه برای کار به دو اپراتور نیاز دارد)، تعداد کارگرانی به‌دست می‌آید که یک دستگاه می‌تواند با آن‌ها جایگزین شود (رابطه ۹):

$$SR = \left(\frac{CA_{\text{ماشین}}}{CA_{\text{کارگر}}} - 2\right) \quad (۹)$$

۲) نرخ استخراج بذر: با محاسبه نسبت وزن بذرهای خارج شده (پس از خشک شدن) به زمان اختصاص‌یافته برای بذرگیری، پارامتر نرخ استخراج بذر بر حسب واحد کیلوگرم بر ساعت به‌دست می‌آید (Mohan, 2012) (روابط (۱۰) و (۱۱) و (۱۲)):

$$SER_{\text{دستی}} = \frac{DSW_{\text{دستی}}}{T_{\text{دستی}}}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۱۰)$$

$$SER_{\text{کارگر}} = \frac{SER_{\text{دستی}}}{n}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۱۱)$$

$$SER_{\text{ماشین}} = \frac{DSW_{\text{ماشین}}}{T_{\text{ماشین}}}\ (kg\ h^{-1}) \quad (۱۲)$$

۳) بازده استخراج بذر: با محاسبه نسبت وزن خشک بذرهای خارج شده از محصول توسط ماشین به وزن خشک کل بذرهای موجود در محصول (حاصل‌جمع وزن خشک بذرهای خارج شده توسط ماشین و بذرهای تلف شده) بازده استخراج بذر به‌دست می‌آید (Mohan, 2012). (منظور از بذرهای تلف شده، وزن آن بخش از بذرهاست که یا به اطراف پرتاب شده‌اند و یا در میوه باقی

مانده‌اند و از آن جدا نشده‌اند) (روابط (۱۳) و (۱۴)):

$$SEE_{دستی} = \frac{ASW_{دستی}}{ASW_{دستی} + ISW_{دستی}} \times 100 \quad (۱۳)$$

$$SEE_{ماشین} = \frac{ASW_{ماشین}}{ASW_{ماشین} + ISW_{ماشین}} \times 100 \quad (۱۴)$$

٤) درصد جوانه‌زنی بذر: برای اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی بذر، ابتدا نمونه‌هایی از بذرهای به‌دست آمده از روش استخراج دستی و ماشینی جمع‌آوری شده و برای ایجاد محیط جوانه‌زنی از سینی پلاستیکی دارای ماسه استفاده شد. پس از کاشت، بذرها به‌صورت قطره‌ای در صورت نیاز آبیاری شدند. جوانه‌ها در روز دهم پس از کاشت ارزیابی شدند و تعداد جوانه‌های نرمال شمارش شد. از تقسیم تعداد جوانه‌های نرمال به تعداد بذرهای کاشته شده، پارامتر درصد جوانه‌زنی بذر محاسبه گردید (Davies, Di Sacco, & Newton, 2015; Mohan 2012).

٥) نقطه سر به سر اقتصادی (Levine & Boldrin, 2008): با برابر قرار دادن هزینه‌های استخراج بذر به‌صورت ماشینی و روش دستی (رابطه ۱۵)، نقطه سر به سر قابل محاسبه است (از رابطه نقطه سر به سر مقدار محصولی محاسبه می‌شود که در صورت اختیار بودن محصول بیشتری از این مقدار، هزینه انجام کار به‌صورت دستی از هزینه انجام کار به‌صورت ماشینی پیشی می‌گیرد). هزینه استخراج بذر با ماشین از رابطه $A + (B \times m)$ محاسبه می‌شود و هزینه استخراج بذر به روش دستی از رابطه $C \times m$ به‌دست می‌آید که در آن:

A: هزینه کل ساخت دستگاه (ریال)

B: هزینه متغیر استفاده از ماشین (ریال بر کیلوگرم)

m: وزن محصول (کیلوگرم) و

C: دستمزد کارگری (ریال بر کیلوگرم) است.

$$A + (B \times m) = C \times m \xrightarrow{yields} m = \frac{A}{(C-B)} \quad (۱۵)$$

برای محاسبه پارامترهای B و C به‌ترتیب از روابط $\frac{(2W+MEP)}{CA_{ماشین}}$ و $\frac{W}{CA_{کارگر}}$ استفاده می‌شود که در آن:

W: دستمزد کارگری (ریال بر ساعت)

$CA_{ماشین}$: ظرفیت ماشین در خارج کردن بذر (کیلوگرم بر ساعت)

$CA_{کارگر}$: ظرفیت یک کارگر در روش دستی استخراج بذر (کیلوگرم بر ساعت) و

MEP: هزینه برق مصرفی دستگاه (ریال بر ساعت)، برای محاسبه MEP از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود:

$$MEP = SEP(\frac{ریال}{kWh}) \times P(kW) \quad (۱۶)$$

در این رابطه SEP هزینه برق مصرفی به‌ازای واحد انرژی الکتریکی (kWh) است که از جداول برق مصرفی اداره برق به‌دست می‌آید و P توان ماشین است.

به‌منظور مقایسه نتایج به‌دست آمده از استخراج بذر به شیوه دستی و ماشینی در قالب طرح آماری، ابتدا آزمایش‌های ارزیابی ماشین در سه تکرار انجام شد و پارامترهای ظرفیت، نرخ استخراج بذر، بازده استخراج بذر و درصد جوانه‌زنی بذر با استفاده از روش دستی و ماشینی اندازه‌گیری شدند و نتایج به‌دست آمده از سه تکرار با آزمون student's t-test مقایسه شد.

داده‌های به‌دست آمده برای محاسبه پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی استخراج بذر به روش دستی و ماشینی در تکرار اول در جدول ۳ به‌صورت کمی آورده شده است.

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده برای ارزیابی دستگاه ساخته‌شده

Table 3- Utilized parameters for the evaluation of the machine

پارامترهای اندازه‌گیری شده در تکرار اول Measured parameters in the first replication		واحد Unit	روش دستی Manual method	روش استفاده از دستگاه Machine method
Crop weight	وزن محصول	kg	109.8	136.3
Seed extraction time	زمان بذرگیری	min	92	27
Number of workers	تعداد کارگر	-	4	2
Weight of total seeds	وزن کل بذرهای به‌دست آمده	gr	1730	1702
Weight of missed seeds	وزن بذرهای تلف‌شده	gr	8	2.7

منظور از بذرهای تلف‌شده، وزن آن بخش از بذرهاست که یا به اطراف پرتاب شده‌اند و یا در میوه باقی مانده‌اند و از آن جدا نشده‌اند.

The meaning of missed seeds is the weight of that part of the seeds that are either thrown around or remain in the fruit and are not separated from it.

نتایج و بحث

الف) نتایج تخمین گشتاور و توان مورد نیاز دستگاه

با استفاده از رابطه (۱) و با توجه به این‌که مقادیر مساحت مثلث‌های تشکیل‌دهنده نوک مارپیچ، بازوی گشتاور مقاوم (r) و تنش ناشی از سفتی خیار (σ) به‌ترتیب برابر با $25mm^2$، ۱/۶۶mm و $1N\ mm^{-2}$ هستند، مقدار گشتاور مورد نیاز برای جدایش بذرها برابر

با ۰/۱۶۷Nm تخمین زده شد. از سوی دیگر با استفاده از رابطه (۲) و مقادیر زیر:

$=$۳۰۰N نیروی فشاری دست

$\mu_{\text{بذر و برنج}} =$ ۰/۱۴

$\mu_{\text{بذر و پوسته}} =$ ۰/۲

$r_{\text{متوسط}} =$ ۱۵mm

$\theta =$ ۳۰°

مقدار گشتاور ناشی از اصطکاک برابر با ۱/۵۳Nm تخمین زده شد، بنابراین گشتاور مقاوم کل برابر با ۳/۳۹۴ Nm به‌دست آمد. با در اختیار بودن گشتاور کل مورد نیاز دستگاه، توان موتور الکتریکی محرک دستگاه با فرض سرعت دورانی ۶۰۰rpm معادل ۰/۲۸۴hp محاسبه گردید. به‌منظور لحاظ شدن سرعت‌های بالاتر در مقدار توان در اختیار دستگاه، همچنین دخالت عامل ضریب اطمینان در طراحی، توان موتور دستگاه ۱hp در نظر گرفته شد.

در نهایت با استفاده از رابطه (۵) و با توجه به این‌که $\tau_{\text{مجاز}} =$ ۲۰MPa لحاظ گردید، قطر محور محرک دستگاه برابر با ۹/۵mm به‌دست آمد که با لحاظ کردن ضریب اطمینان ۳، قطر محور انتقال توان دستگاه برابر با ۱۵mm در نظر گرفته شد.

ب) ارزیابی اولیه کارکرد دستگاه

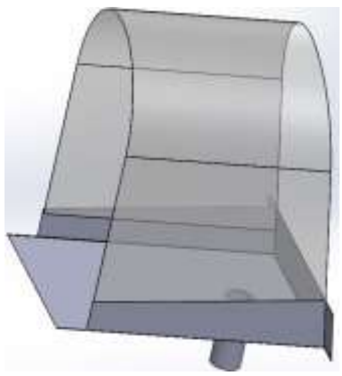
پس از کامل شدن دستگاه از آن به مدت ۶ ماه به‌صورت آزمایشی استفاده شد تا عیوب احتمالی دستگاه مشخص شوند. پس از گذشت این بازه زمانی و لحاظ کردن طرز رفتار معمول کارگران با دستگاه، مثل انداختن بخشی از وزن دست‌ها روی محورهای دوار مشخص شد که مارپیچ‌های دستگاه احتیاج به تقویت دارند، بنابراین مارپیچ‌های جدید به‌صورت آن‌چه در شکل ۴ نشان داده شده، طراحی گردید.



شکل ٤- مارپیچ‌های بازطراحی شده دستگاه

Fig. 4. The re-designed helixes of the machine

همچنین استفاده‌کننده‌های دستگاه نسبت به پرتاب شدن موردی بذرها به بیرون از محیط جمع‌آوری بذور که زیر مارپیچ‌های دستگاه قرار داشت، شکایت داشتند که با نصب قطعه گنبدی شکل نشان داده شده در شکل ۵، این عیب برطرف شد.



شکل ۵- نصب قطعه گنبدی شکل برای جلوگیری از پرتاب شدن موردی بذرها به اطراف

Fig. 5. The designed cover for preventing occasional seed losses during extraction

ج) نتایج به‌دست آمده از دیدگاه پارامترهای مکانیزاسیونی

به‌منظور مقایسه نتایج به‌دست آمده از استخراج بذر به شیوه دستی و ماشینی در قالب طرح آماری، ابتدا آزمایش‌های ارزیابی ماشین در سه تکرار انجام شد و پارامترهای ظرفیت، نرخ استخراج بذر، بازده استخراج بذر و درصد جوانه‌زنی بذر با استفاده از روش دستی و ماشینی اندازه‌گیری شدند و نتایج به‌دست آمده از سه تکرار با آزمون student's t-test مقایسه شد.

مقادیر شاخص‌های به‌دست آمده از سه تکرار در جدول ۴ آورده شده است. همچنین با استفاده از داده‌های به‌دست آمده و روابط ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها، پارامترهای نرخ جایگزینی دستگاه با کارگر، مقدار محصول در نقطه سر به سر اقتصادی و زمان رسیدن به نقطه سر به سر اقتصادی محاسبه شد که نتایج مربوطه در جدول ۵ آورده شده است.

محاسبه ظرفیت ماشین

در این پژوهش متوسط ظرفیت ماشین در سه تکرار برابر با ۳۰۴ $kg\ h^{-1}$ به‌دست آمد (جدول ۴). در مقام مقایسه در پژوهش Mohan (2012) ظرفیت ماشین استخراج بذر خیار برابر با ۲۱۹$kg\ h^{-1}$ گزارش شده است. یادآوری این نکته اهمیت دارد که ماشین استفاده شده در پژوهش Mohan (2012) از یک واحد استخراج‌کننده بذر مارپیچی تشکیل شده بود، در حالی‌که ماشین توسعه‌یافته در این پژوهش دو واحدی است، بنابراین ظرفیت هر واحد از ماشین برابر با ۱۵۲$kg\ h^{-1}$ است. از سوی دیگر Wehner *et al.*, (1983) اعلام کردند که ماشین ساخته شده در آن پژوهش قادر به استخراج بذر از ۱۰۰ خیار در هر دقیقه است، در حالی‌که ماشین توسعه‌یافته در این پژوهش قادر به استخراج بذر از ۱۴ خیار در دقیقه است (ظرفیت ماشین برابر با ۵/۰۶ $kg\ min^{-1}$ است که با در نظر گرفتن وزن متوسط هر خیار بذری برابر با ۳۶۵g، ماشین قادر به خارج کردن بذر از ۱۴ خیار در هر دقیقه است). در توجیه این تفاوت توجه به این نکته اهمیت دارد که روش استخراج بذر مورد استفاده در دستگاه پژوهش Wehner *et al.*, (1983)، روش غلتک‌های خردکننده خیار است که با روش استخراج بذر به‌کار رفته در این پژوهش تفاوت دارد. همچنین Wehner and Humpheries (1995) زمان استخراج بذر ۱۸ ثانیه‌ای به‌ازای هر خیار را برای ماشین دارای مکانیزم پیچ ارشمیدوسی ساخته شده در آن پژوهش گزارش کردند که با زمان ۹ ثانیه‌ای به‌دست آمده در این پژوهش به‌ازای هر خیار برای هریک از واحدهای استخراج‌کننده بذر قابل مقایسه است.

محاسبه بازده استخراج بذر

در این پژوهش متوسط بازده استخراج بذر ماشین در سه تکرار برابر با ۹۹/۶٪ به‌دست آمد (جدول ۴). در مقام مقایسه Mohan (2012) گزارش کرد که بازده استخراج بذر خیار در ماشین توسعه‌یافته در آن پژوهش در بازه ۹۹٪ تا ۱۰۰٪ تغییر می‌کند که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش از نقطه نظر بازده استخراج بذر همخوانی دارد.

محاسبه درصد جوانه‌زنی بذر

از هر گروه بذرهای به‌دست آمده به روش‌های دستی و ماشینی، نمونه‌های ۸۰ بذری انتخاب شد و درصد جوانه‌زنی بذرها محاسبه گردید. در این تحقیق متوسط درصد جوانه‌زنی بذرهای به‌دست آمده از روش ماشینی در سه تکرار برابر با ۹۴/۱٪ به‌دست آمد (جدول ۴). در مقام مقایسه از نظر شاخص جوانه‌زنی بذر، Mohan (2012) عدد ۹۶٪ را برای جوانه‌زنی بذرهای استخراج شده به‌وسیله ماشین ساخته شده در آن پژوهش ارائه داده است. همچنین Wehner and Humphries (1995) اظهار داشتند که هیچ کاهشی در قدرت جوانه‌زنی بذرهای به‌دست آمده از روش ماشینی در مقایسه با روش دستی در مدت زمان ۵ ساله استفاده از ماشین مشاهده نشد.

جدول ٤– مقادیر شاخص‌های ارزیابی‌کننده روش‌های ماشینی و دستی در استخراج بذر

Table 4- The values of evaluating indexes for machine and manual seed extraction methods

	ظرفیت ماشین ($kg\ h^{-1}$) Machine capacity		نرخ استخراج بذر ($kg\ h^{-1}$) Rate of seed extraction		بازده استخراج بذر (%) Seed extraction efficiency		درصد جوانه‌زنی بذر (%) Seed germination	
	دستی Manual	ماشینی Machine	دستی Manual	ماشینی Machine	دستی Manual	ماشینی Machine	دستی Manual	ماشینی Machine
تکرار ۱ Replication1	17.85	302.4	0.282	3.78	99.5	99.8	95	93.7
تکرار ۲ Replication2	16.93	310.3	0.274	3.55	99.4	99.7	93.7	95
تکرار ۳ Replication3	18	300	0.27	3.71	99.1	99.4	91.2	93.7
میانگین Average	17.59	304	0.28	3.68	99.3	99.6	93.3	94.1

بر اساس نتیجه آزمون در سطح احتمال ۱٪ بین روش دستی و ماشینی از نقطه نظر پارامترهای ظرفیت ماشین و نرخ استخراج بذر تفاوت معنی‌دار وجود دارد، اما تفاوت معنی‌داری از نقطه نظر پارامترهای بازده استخراج و درصد جوانه‌زنی بذر مشاهده نشد.

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های نرخ جایگزینی کارگر با ماشین، مقدار محصول و زمان رسیدن به نقطه سر به سر اقتصادی

Table 5- The values of the replacement rate of workers with the machine, the amount of crop and the time required for reaching to the economical break-even point

	نرخ جایگزینی دستگاه با کارگر Replacement rate of workers with the machine	مقدار محصول در نقطه سر به سر (ton) Amount of crop in the economical break-even point	زمان رسیدن به نقطه سر به سر (h) The time required for reaching to the economical break-even point
تکرار ۱ Replication1	15	8	26.5
تکرار ۲ Replication2	16	7	22.6
تکرار ۳ Replication3	15	8	26.7
میانگین Average	15.3	7.7	25.3

همانطور که مشاهده می‌شود به‌طور متوسط استفاده از ماشین باعث عدم به‌کارگیری ۱۵ کارگر می‌شود. از سوی دیگر اگر مقدار محصول از ۷/۷ تن بیشتر باشد، ساخت و استفاده از دستگاه در مقایسه با استخراج بذر به روش دستی از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است. از نظر زمانی، تعداد ساعات به‌کار بردن دستگاه برای رسیدن به نقطه سر به سر اقتصادی برابر با ۲۵/۳ ساعت به‌دست آمد، بنابراین با انجام کار استخراج بذر به‌صورت ماشینی و با تمام ظرفیت، بیش از یک شبانه‌روز کاری زمان لازم است تا استفاده از ماشین نسبت به روش دستی استخراج بذر از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه برای استخراج مکانیزه بذر از محصول خیار بذری اقدام شد. جزء کاری دستگاه مارپیچ‌های خارج‌کننده بذر هستند که حرکت دورانی آن‌ها از طریق سیستم انتقال توان پولی و تسمه‌ای و با به‌کارگیری یک موتور الکتریکی سه فاز با قدرت یک اسب بخار تأمین شد. برای راه‌اندازی و توقف آرام موتور، همچنین امکان تغییر سرعت دورانی محور، موتور الکتریکی به راه‌انداز الکترونیکی مجهز گردید. پس از استفاده اولیه به مدت ۶ ماه از دستگاه مشخص شد که مارپیچ‌ها باید باز طراحی و تقویت شوند. بر اساس نتایج به‌دست آمده به‌کارگیری این دستگاه به کاهش ۱۵ نفری نیاز کارگری در استخراج بذر به روش دستی منجر شد. همچنین وزن محصولی که باعث اقتصادی شدن استفاده از دستگاه در مقایسه با روش دستی در استخراج بذر می‌شود، برابر با ۷/۷ تن برآورد شد.

سپاسگزاری

این پژوهش به سفارش و کمک مالی شرکت دانش بنیان نگین بذر دانش و در قالب طرح برون دانشگاهی انجام شده است که بدین وسیله مراتب سپاسگزاری از پرسنل شرکت مذکور اعلام می‌شود.

References

1. Abd-Alla, A. M. (1993). *Physiological studies on the yield and quality of cucumber seeds*, Ph. D., Horticultural Department, Agricultural College, Ain Shams U.: 67-68.
2. Davies, R., Di Sacco, A., & Newton, R. (2015). *Germination testing: procedures and evaluation*. Technical report. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29338.85440.
3. Deepak, E., Jyothilakshmi, C., & Shifa, T. D. (2004). *Development and testing of a power operated ash gourd seed extractor*. Unpublished B. Tech (Ag. Engg) project. Kerala Agricultural University, Thrissur, India.
4. Deepthi, P. E., Jacintha, K. J., & Ali, M. (1993). *Fabrication and testing of a power operated axial flow seed extractor*. Unpublished B. Tech (Ag. Engg) project. Kerala Agricultural University, Thrissur, India.
5. Deyo, A., & Malley, B. O. (2008). Cucurbitaceae. *Food for Thought: The Science, Culture, & Politics of Food.* Hamilton College.

6. El Said, I. Y., Atallah, M. M., Khalil, K. S., & El-Lithy, A. M. (2011). Physical and mechanical properties of cucumber applied to seed extractor. *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, *2*(8), 871-880. https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55669.
7. FAO. (2020). World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020. Rome. https://doi.org/10.4060/cb1329en
8. Gabani, S. H., & Siripurapu, S. C. B. (1993). Chilli seed extractor. *Spice India*, *9*, 5-8.
9. Gopalakrishnan, T. R. (2007). *Horticulture sciences series*, *Vegetable Crops*. New India Publishing Agency, Pitam Pura, New Delhi.
10. Kalra, S. M., Kaul, K. K., & Srivastava, R. (1983). Development of tomato seed extractor. *Journal of Agricultural Engineering*, *20*(3), 183-186.
11. Levine, D., & Boldrin, M. (2008). *Against Intellectual Monopoly*. Cambridge University Press. p. 312. ISBN 978-0-521-87928-6.
12. Ministry of Agriculture. Agricultural statistics. (2016).
13. Mirzabe, A. H., Barati kakolaki, M., Abouali, B., & Sadin, R. (2017). Evaluation of some engineering properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds and kernels based on image processing. *Information Processing in Agriculture*, *4*, 300-315. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.07.001.
14. Mohan, A. (2012). *Development and evaluation of a seed extractor for ash gourd and cucumber*. MS Thesis. Faculty of agricultural engineering and technology, Kerala Agricultural University, Kerala, India.
15. Moradi, M., Balanian, H., Taherian, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2019). Physical and mechanical properties of three varieties of cucumber: A mathematical modeling. *Journal of Food Process Engineering*. https://doi.org/10.1111/jfpe.13323.
16. Mousavizadeh, S. J., Mashayekhi, K., Garmakhany, A. D., Ehteshamnia, A., & Jafari, S. M. (2010). Evaluation of some physical properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, *4*(4), 107-115.
17. Rossi, J., Berton, E., Grélot, L., Barla, C., & Vigouroux, L. (2012). Characterisation of forces exerted by the entire hand during the power grip: effect of the handle diameter. *Ergonomics* *55*(6), 682-692. https://doi.org/10.1080/00140139.2011.652195.
18. Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*, second ed. ASAE Publication, USA.
19. Wehner, T. C., & Humphries, E. G. (1995). A single fruit seed extractor for cucumbers. *Horticultural Thechnology*, *5*(3), 268-273. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.5.3.268.
20. Wehner, T. C., Tolla, G. E., & Humphries, E. G. (1983). A plot scale extractor for cucumber seeds. *Horticultural Science*, *18*(2), 246-247.